

Title:

PART CAST FROM ALUMINIUM ALLOY WITH HIGH HOT STRENGTH

Patent Assignee :

PECHINEY ALUMINIUM

Inventor(s):

LASLAZ GERARD; GARAT MICHEL

Patent Number(s):

FR2841164 A1 20031226 B1 20040730

Priority Details:

2002FR-0007873 20020625

Abstract:

FR2841164 A1 20031226 B1 20040730 = US2005224145 A1
20051013 ...

(US2005224145) Cast part with high creep resistance, made of an alloy with a composition comprising (% by weight): Si: 5-11 Fe<0.6 Mg: 0.15-0.6 Cu: 0.3-1.5 Ti: 0.05-0.25 Zr: 0.05-0.25 Mn<0.4 Zn<0.3 Ni<0.4 other elements<0.10 each and 0.30 total, remainder aluminium.

INDEX

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) № de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 841 164

(21) № d'enregistrement national : **02 07873**

(51) Int Cl⁷ : B 22 D 21/04, C 22 C 21/04, F 16 M 1/00, F 16 J 10/
00, F 02 F 1/24, 7/00

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 25.06.02.

(30) Priorité :

(43) Date de mise à la disposition du public de la
demande : 26.12.03 Bulletin 03/52.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

(60) Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

(71) Demandeur(s) : ALUMINIUM PECHINEY Société ano-
nyme — FR.

(72) Inventeur(s) : LASLAZ GERARD et GARAT MICHEL.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : PECHINEY.

(54) **PIECE MOULEE EN ALLIAGE D'ALLUMINIUM A HAUTE RESISTANCE AU FLUAGE.**

(57) L'objet de l'invention est une pièce moulée à haute résistance au fluage, notamment une culasse ou un carter de moteur, en alliage de composition (% en poids):

Si: 5 - 11 et de préférence 6, 5 - 7, 5

Fe < 0, 4 et de préférence < 0, 2

Mg: 0, 15 - 0, 6 « « 0, 25 - 0, 4

Cu: 0, 3 - 1, 2 « « 0, 4 - 0, 6

Ti: 0, 05 - 0, 25 « « 0, 08 - 0, 20

Zr: 0, 05-0, 25 « « 0, 12-0, 18

Mn < 0, 4 « « <0, 1

Zn < 0, 2 « « < 0, 1 Ni < 0, 4 « « < 0, 1

autres éléments < 0, 10 chacun et 0, 30 au total, reste aluminium.

La pièce est, de préférence, traitée par mise en solution, trempe et revenu à l'état T6 ou T7.



Pièce moulée en alliage d'aluminium à haute résistance au fluage

5 Domaine de l'invention

L'invention concerne les pièces moulées en alliage d'aluminium soumises à des contraintes thermiques et mécaniques élevées, notamment les culasses et les carters de moteurs à combustion interne, et plus particulièrement de moteurs turbochargés à essence ou diesel. On trouve également, en dehors de l'automobile des pièces soumises aux mêmes types de contraintes, par exemple dans le domaine de la mécanique ou de l'aéronautique.

Etat de la technique

15

Dans la fabrication des culasses de moteurs, on utilise habituellement deux familles d'alliages d'aluminium :

- 1) les alliages contenant de 5 à 9% de silicium, de 3 à 4% de cuivre et du magnésium. Il s'agit le plus souvent d'alliages de seconde fusion, avec des teneurs en fer comprises entre 0,5 et 1%, et des teneurs en impuretés, notamment en manganèse, zinc, plomb, étain ou nickel, assez élevées. Ces alliages sont généralement utilisés sans traitement thermique (état F) ou simplement stabilisés (état T5). Ils sont plutôt destinés à la fabrication de culasses de moteurs à essence assez peu sollicités thermiquement. Pour les pièces plus sollicitées destinées aux moteurs diesel ou turbo-diesel, on utilise des alliages de première fusion, avec une teneur en fer inférieure à 0,3%, traités thermiquement à l'état T6 (revenu au pic de résistance mécanique) ou T7 (sur-revenu).
- 2) Les alliages de première fusion contenant de 7 à 10% de silicium et du magnésium, traités à l'état T6 ou T7, pour les pièces les plus sollicitées comme celles destinées aux moteurs turbo-diesel.

Ces deux grandes familles d'alliages conduisent à des compromis différents entre les diverses propriétés d'emploi : résistance mécanique, ductilité, tenue au fluage et à la fatigue. Cette problématique a été décrite par exemple dans l'article de R. Chuimert

et M. Garat : « Choix d'alliages d'aluminium de moulage pour culasses Diesel fortement sollicitées », paru dans la Revue SIA de mars 1990. Cet article résume ainsi les propriétés de 3 alliages étudiés :

- Al-Si5Cu3MgFe0,15 T7 : bonne résistance – bonne ductilité
- 5 - Al-Si5Cu3MgFe0,7 F : bonne résistance – faible ductilité
- Al-Si7Mg0,3Fe0,15 T6 : faible résistance – extrême ductilité

La première et la troisième combinaison alliage-état peuvent être utilisées pour les culasses fortement sollicitées. Cependant, on a continué à rechercher un compromis amélioré entre résistance et ductilité. Le brevet FR 2690927 au nom de la 10 demanderesse, déposé en 1992, décrit des alliages d'aluminium résistant au fluage contenant de 4 à 23% de silicium, au moins l'un des éléments magnésium (0,1 – 1%), cuivre (0,3 – 4,5%) et nickel (0,2 – 3%), et de 0,1 à 0,2% de titane, de 0,1 à 0,2% de zirconium et de 0,2 à 0,4% de vanadium. On observe une amélioration de la tenue au fluage à 300°C sans perte notable de l'allongement mesuré à 250°C.

15 L'article de F. J. Feikus « Optimization of Al-Si cast alloys for cylinder head applications » AFS Transactions 98-61, pp. 225-231, étudie l'ajout de 0,5% et 1% de cuivre à un alliage AlSi7Mg0,3 pour la fabrication de culasses de moteurs à combustion interne. Après un traitement T6 classique comportant une mise en solution de 5 h à 525°C, suivi d'une trempe à l'eau froide et d'un revenu de 4 h à 20 165°C, il n'observe aucun gain en limite d'élasticité, ni en dureté à température ambiante, mais à des températures d'utilisation au delà de 150°C, l'ajout de cuivre apporte un gain significatif de limite d'élasticité et de résistance au fluage.

25 Le brevet EP 1057900 (VAW Aluminium), déposé en 1999, est un développement dans la même voie et décrit l'ajout à un alliage Al-Si7Mg0,3Cu0,35 de quantités étroitement contrôlées de fer (0,35 – 0,45%), de manganèse (0,25 – 0,30%), de nickel (0,45 – 0,55%), de zinc (0,10 – 0,15) et de titane (0,11 – 0,15%). Cet alliage présente aux états T6 et T7 une bonne résistance au fluage, une conductivité thermique élevée, une ductilité satisfaisante et une bonne tenue à la corrosion.

30 Le but de la présente invention est d'améliorer encore la résistance au fluage des pièces moulées en alliages du type AlSiCuMg dans le domaine de température 250-300°C, sans dégrader leur ductilité, et en évitant la multiplication des éléments d'addition qui peuvent poser problème au recyclage.

Objet de l'invention

L'objet de l'invention est une pièce moulée à haute résistance au fluage en alliage de composition (% en poids) :

5	Si : 5 – 11	et de préférence 6,5 – 7,5
	Fe < 0,4	et de préférence < 0,2
	Mg : 0,15 – 0,6	« « 0,25 – 0,4
	Cu : 0,3 – 1,2	« « 0,4 – 0,6
	Ti : 0,05 – 0,25	« « 0,08 – 0,20
10	Zr : 0,05 – 0,25	« « 0,12 – 0,18
	Mn < 0,4	« « < 0,1
	Zn < 0,2	« « < 0,1
	Ni < 0,4	« « < 0,1

autres éléments < 0,10 chacun et 0,30 au total, reste aluminium.

15 La pièce est, de préférence, traitée par mise en solution, trempe et revenu à l'état T6 ou T7.

Description de l'invention

20 L'invention repose sur la constatation par la demanderesse qu'en ajoutant une faible quantité de zirconium à un alliage au silicium contenant moins de 1,2% de cuivre et moins de 0,6% de magnésium, on pouvait obtenir, sur des pièces moulées traitées à l'état T6 ou T7, une bonne résistance au fluage dans le domaine 250-300°C, sans perte de ductilité. Ce résultat est obtenu sans avoir à utiliser des éléments comme le nickel ou le vanadium qui posent des problèmes au recyclage. De plus, le nickel a l'inconvénient de réduire la ductilité de la pièce.

25 Comme la plus grande partie des alliages destinés à la fabrication des culasses de moteurs, l'alliage contient de 5 à 11% de silicium, et de préférence de 6,5 à 7,5%. Le fer est maintenu en dessous de 0,4%, et de préférence en dessous de 0,2%, ce qui veut dire qu'il s'agit plutôt d'un alliage de première fusion. Le magnésium, à une teneur centrée autour de 0,3%, est également un élément d'addition habituel des alliages pour culasses.

L'addition de 0,3 à 1,2%, et de préférence de 0,4 à 0,6%, de cuivre permet d'améliorer la résistance mécanique sans affecter la résistance à la corrosion. De plus, la demanderesse a constaté que, dans ces limites, la ductilité et la résistance au fluage des pièces à l'état T6 ou T7 n'étaient pas abaissées.

5 La teneur en titane est maintenue entre 0,05 et 0,25%, ce qui est assez habituel pour ce type d'alliage. Le titane contribue à l'affinage du grain primaire lors de la solidification, mais, dans le cas des alliages selon l'invention, il contribue aussi, en liaison avec le zirconium, à la formation, lors de la mise en solution de la pièce moulée, de dispersoïdes très fins ($< 1 \mu\text{m}$) AlSiZrTi situés à cœur de la solution solide α -Al qui sont stables au-delà de 300°C , contrairement aux phases Al_2CuMg , AlCuMgSi , Mg_2Si et Al_2Cu qui coalescent à partir de 150°C .

10 Ces phases de dispersoïdes ne sont pas fragilisantes contrairement aux phases au fer AlSiFe et AlSiMnFe de taille importante (20 à $100 \mu\text{m}$), ainsi qu'aux phases au nickel, qui se forment à la coulée dans les espaces interdendritiques.

15 Les pièces sont fabriquées par les procédés habituels de moulage, notamment le moulage en coquille par gravité et le moulage basse pression, mais également le moulage au sable, le squeeze casting (en particulier dans le cas d'insertion de composites) et la moulage à mousse perdue (lost foam).

20 Le traitement thermique comporte une mise en solution typiquement de 3 à 10 h à une température comprise entre 500 et 545°C , une trempe de préférence à l'eau froide, une attente entre trempe et revenu de 4 à 16 h, et un revenu de 4 à 10 h à une température comprise entre 150 et 240°C . La température et la durée du revenu sont ajustées de manière à obtenir, soit un revenu au pic de résistance mécanique (T6), soit un sur-revenu (T7).

25 Les pièces selon l'invention, et notamment les culasses et les carters de moteur d'automobile ou d'avion, présentent à la fois une résistance mécanique élevée, une bonne ductilité, et une résistance au fluage supérieure à celle des pièces de l'art antérieur.

30 Exemple

On a élaboré dans le creuset en carbure de silicium d'un four électrique 100 kg d'alliage A de composition (% en poids) :

Si = 7,10 Fe = 0,15 Mg = 0,37 Ti = 0,14 Sr = 170 ppm

100 kg d'alliage B de même composition avec une addition complémentaire de 0,49% de cuivre

100 kg d'alliage C de même composition que B avec une addition complémentaire de 5 0,14% de zirconium.

Ces compositions ont été mesurées par spectrométrie d'émission par étincelle, sauf pour Cu et Zr qui ont été mesurés par spectrométrie d'émission à plasma induit.

On a coulé 50 éprouvettes coquille de traction AFNOR de chaque alliage. Ces éprouvettes ont été soumises à un traitement thermique comportant une mise en 10 solution de 10 h à 540°C, précédée pour les alliages au cuivre B et C d'un palier de 4 h à 500°C pour éviter la brûlure, une trempe à l'eau froide, une maturation à la température ambiante de 24 h et un revenu de 5 h à 200°C.

15 A partir de ces éprouvettes, on a usiné des éprouvettes de traction et des éprouvettes de fluage de manière à mesurer les caractéristiques mécaniques (résistance à la rupture R_m en MPa, limite d'élasticité $R_{p0,2}$ en MPa et allongement à la rupture A en %) à la température ambiante, à 250°C et à 300°C. Les résultats sont indiqués au tableau 1 :

Tableau 1

20

	R_m	$R_{p0,2}$	A	R_m	$R_{p0,2}$	A	R_m	$R_{p0,2}$	A
Temp.	Amb.	Amb.	Amb.	250°C	250°C	250°C	300°C	300°C	300°C
A	299	257	9,9	61	55	34,5	43	40	34,5
B	327	275	9,8	73	66	34,5	44	40	34,6
C	324	270	9,8	68	63	34,5	45	42	35,0

25

On constate que l'addition de cuivre à l'alliage A est favorable à la résistance mécanique, aussi bien à froid qu'à chaud, sans modifier l'allongement, et que l'addition de zirconium à B est pratiquement sans influence sur les caractéristiques mécaniques.

On a mesuré ensuite sur les éprouvettes de fluage, pour les alliages B et C, l'allongement (en %) après 100 h à 250°C et 300°C sous différents niveaux de contrainte (en MPa). Les résultats sont indiqués au tableau 2 :

Tableau 2

Température (°C)	250	250	300
Contrainte (MPa)	45	40	22
A (%) alliage B	2,43	0,134	0,136
A(%) alliage C	0,609	0,079	0,084

5 On constate qu'à température et contrainte identiques, l'alliage C avec addition de zirconium présente un comportement au fluage nettement amélioré, la déformation sous charge constante étant réduite, selon le cas, de 40 à 75%..

Revendications

1. Pièce moulée à haute résistance au fluage en alliage de composition (% en
5 poids) :

Si : 5 – 11

Fe < 0,4

Mg : 0,15 – 0,6

Cu : 0,3 – 1,2

10 Ti : 0,05 – 0,25

Zr : 0,05 – 0,25

Mn < 0,4

Zn < 0,2

Ni < 0,4

15 autres éléments < 0,10 chacun et 0,30 au total, reste aluminium.

2. Pièce selon la revendication 1, caractérisée en ce que sa teneur en silicium est comprise entre 6,5 et 7,5%.

20 3. Pièce selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisée en ce que sa teneur en fer est inférieure à 0,2%.

4. Pièce selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que sa teneur en magnésium est comprise entre 0,25 et 0,4%.

25 5. Pièce selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que sa teneur en cuivre est comprise entre 0,4 et 0,6%.

30 6. Pièce selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisée en ce que sa teneur en titane est comprise entre 0,08 et 0,20%.

7. Pièce selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que sa teneur en zirconium est comprise entre 0,12 et 0,18%.

8. Pièce selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisée en ce que sa teneur en manganèse est inférieure à 0,1%.
- 5 9. Pièce selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisée en ce que sa teneur en zinc est inférieure à 0,1%.
10. Pièce selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisée en ce que sa teneur en nickel est inférieure à 0,1%.
- 10 11. Pièce selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisée en ce qu'elle est traitée par mise en solution, trempe et revenu à l'état T6 ou T7.
- 15 12. Pièce selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisée en ce qu'elle est une culasse ou un carter de moteur d'automobile ou d'avion.



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

**N° d'enregistrement
national**

FA 620632
FR 0207873

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI		
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes				
D, A	FR 2 690 927 A (PECHINEY ALUMINIUM) 12 novembre 1993 (1993-11-12) * revendication 1 *	1	B22D21/04 C22C21/04 F16M1/00 F16J10/00		
D, A	EP 1 057 900 A (VAW VER ALUMINIUM WERKE AG) 6 décembre 2000 (2000-12-06) * revendication 1 *	1	F02F1/24 F02F7/00		
A	DE 195 24 564 A (VAW ALUCAST GMBH) 2 janvier 1997 (1997-01-02)				
A	US 4 434 014 A (SMITH DAVID M) 28 février 1984 (1984-02-28)				
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.Cl.7)		
			C22C		
Date d'achèvement de la recherche		Examinateur			
10 avril 2003		Gregg, N			
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS					
X : particulièrement pertinent à lui seul					
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie					
A : amère-plan technologique					
O : divulgation non-écrite					
P : document intercalaire					
T : théorie ou principe à la base de l'invention					
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.					
D : cité dans la demande					
L : cité pour d'autres raisons					
& : membre de la même famille, document correspondant					

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
 Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
 A : amrière-plan technologique
 O : divulgation non-écrite
 P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
 E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
 D : cité dans la demande
 L : cité pour d'autres raisons

 & : membre de la même famille, document correspondant

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0207873 FA 620632**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 10-04-2003

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2690927	A	12-11-1993	FR	2690927 A1	12-11-1993
EP 1057900	A	06-12-2000	DE AT CA CZ DE DE EP ES PL US	19925666 C1 204026 T 2310351 A1 20002066 A3 10026626 C1 50000009 D1 1057900 A1 2163386 T3 340325 A1 2002053373 A1	28-09-2000 15-08-2001 04-12-2000 14-11-2001 10-05-2001 13-09-2001 06-12-2000 01-02-2002 18-12-2000 09-05-2002
DE 19524564	A	02-01-1997	DE	19524564 A1	02-01-1997
US 4434014	A	28-02-1984	AU AU CA DE FR GB JP JP JP SE SE	536976 B2 7500581 A 1175687 A1 3135943 A1 2489846 A1 2085920 A , B 1478008 C 57108239 A 62011063 B 454446 B 8105358 A	31-05-1984 18-03-1982 09-10-1984 29-04-1982 12-03-1982 06-05-1982 27-01-1989 06-07-1982 10-03-1987 02-05-1988 11-03-1982